

北太平洋涛动与台风和飓风频次的关系研究

王会军* 孙建奇 范 可

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘要 研究了北太平洋涛动(NPO)和西太平洋台风及热带大西洋飓风频次的联系. 结果表明, 在 1949~1998 年这 50 a 间, NPO 和西太平洋台风频次的相关系数是 0.37, 而和热带大西洋飓风频次的相关系数是 -0.28, 都达到了 95% 的置信度水平. 进一步的研究揭示: 6~9 月 NPO 的变化和西太平洋及热带大西洋区的纬向风垂直切变幅度、海平面气压以及海表面温度、区域大气辐散辐合等存在显著的关联, 而这些气候环境的变化都和台风及飓风生成与发展的热力或动力过程密切相关. 这就是 NPO 与台风及飓风频次相联系的原因. 还进一步研究了与 NPO 有关的大气遥相关以及两个区域大气环流的变化, 以便进一步理解 NPO 和台风及飓风活动频次的联系. 最后分析了一个海气耦合模式的积分结果, 初步印证了由观测资料所得到的结论.

关键词 西太平洋台风 热带大西洋飓风 北太平洋涛动 台风/飓风频次

很早开始就有人认识到厄尔尼诺/南方涛动(ENSO)对于西太平洋(WNP)和热带大西洋(TA)热带气旋的活动频次、强度、发生区域以及登陆特征都有很显著的影响^[1~7]. 研究显示, ENSO能够影响热带气旋活动主要是通过影响纬向风垂直切变幅度、海表面温度、瓦克(Walker)环流以及西太平洋季风槽的活动等来实现的^[8,9]. Gray^[8]和 Chan^[10]还指出了平流层准两年振荡对热带风暴和台风活动的影响.

然而, 台风/飓风活动的年际变化非常复杂, 所以, 研究其他因素对台风/飓风活动的可能影响对于了解台风/飓风活动的变异和可预测性非常重要. 所以, 基于前人研究工作的基础, 本文重点研究北太平洋涛动(NPO)和台风/飓风活动频次之间的联系, 主要是分析研究NPO的变化如何以及怎样和台风/飓风活动所依赖的大尺度及区域大气环流及海温条件联系起来的. NPO是北太平洋大气年际变化的主要模态, 反映的是北太平洋区域海平面气压(SLP)在高纬和低纬之间的跷跷板式变化特征^[11~13].

关于NPO的定义: 已经有很多种, 主要是 3 类: 用两个点(65°N, 170°E)和(25°N, 165°E)之间的气压差的标准化值^[12]; 用两个区域平均的气压差的标准化值^[14]; 用北太平洋区域SLP的经验正交函数分解的第一模态的时间系数^[15]. 对这 3 种定义作了初步比较, 发现其结果非常相似, 3 种指数在 1949~1998 年期间年际变化的相关系数都高于 0.75, 前两个指数的相关系数高于 0.90. 并且, 这 3 个指数都和西太平洋台风有类似的相关关系(相关系数分别为: 0.37, 0.30, 0.41). 因此, 用这 3 个指数均能较好地代表NPO, 本文中统一用第一种定义. 值得指出的是, 我国学者在NPO及相关研究中有很多成果^[14,16~20]. 最近的研究还揭示了南极涛动对西太平洋台风频次之间的关系^[21]. 国内外的这些研究成果增加了对NPO以及台风气候的年际和年代际变化规律的认识. 但是, 对于NPO和台风/飓风活动之间的联系还没有研究, 这也正是本文的出发点.

收稿日期: 2007-03-15; 接受日期: 2007-05-10

国家自然科学基金项目(批准号: 40631005, 40620130113)和中国科学院创新优秀团队项目资助

* E-mail: wanghj@mail.iap.ac.cn

1 资料

本文所用的西太平洋和热带大西洋台风和飓风资料均来自于美国的联合台风预警中心(Joint Typhoon Warning Center)和美国国家海洋大气局的飓风研究部(Hurricane Research Division)^[22], 资料长度分别为 1945~1998 年和 1851~1998 年; 应用了美国国家大气科学研究中心和环境预测中心的大气再分析资料(1949~1998 年), 水平分辨率是 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 垂直方向有 17 层^[23]; 使用了英国 Hadley 气候预测和研究中心的海平面气压(SLP)分析资料(1871~1998 年, $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 水平分辨率)^[24]以及美国国家海洋大气局的最优差值的海温(SST)资料^[25].

本文中使用了 Saffir-Simpson 标准来区分热带风暴和台风/飓风, 即, 当风速处于 39~73 mi/h(或者 62.8~117.5 km/h), 定义为热带风暴; 当风速大于 74 mi/h(或者 119.1 km/h), 定义为台风/飓风.

2 北太平洋涛动和台风/飓风频次

首先计算 6~9 月 NPO 指数和台风/飓风频次(即, 一年中有多少个台风/飓风)的相关系数, 结果是: 1949~1998 年期间 NPO 和西太平洋台风频次(TNWP)相关系数是 0.37, 和热带大西洋飓风频次(HNAT)的相关系数为 -0.28. 另外, 在此期间 NPO 和上述两个区域热带风暴频次的相关系数分别是 -0.20 和 0.23. 所以, NPO 和台风/飓风的频次变化相关程度更高一些, 所以, 集中讨论台风/飓风的频次变化和 NPO 的

联系问题.

图 1 给出了 1945~1998 年 6~9 月 NPO、西太平洋热带风暴频次和台风频次标准化时间序列, 从图 1 中可以看出, 确实存在 NPO 和西太平洋热带风暴频次及台风频次之间显著的同向变化对应关系. 另外, 在整个 1871~1998 年这 128 a 中 NPO 和热带大西洋飓风频次的反向变化对应关系也很好, 5 a 滑动平均的变化对应关系还更好一些(图略).

为了进一步印证 NPO 和台风/飓风频次变化的关系, 分析了 NPO 和 SLP 的相关场以及台风/飓风频次和 SLP 的相关场分布(图 2). 我们看到, NPO 的相关场在北太平洋区域存在相当规则的分布特征, 在低纬太平洋区是反相关, 在高纬太平洋区是正相关. 同时, 在热带大西洋区是正相关. 西太平洋台风频次和 SLP 的相关分布在太平洋区和 NPO-SLP 的相关场基本相似; 而热带大西洋飓风频次和 SLP 相关分布和 NPO-SLP 的相关场分布在热带大西洋区基本相反. 这就印证了 NPO 和西太平洋台风频次、热带大西洋飓风频次的正相关和反相关关系的存在.

纬向风的垂直切变幅度(MWS)对于热带气旋生成和发展是非常重要的一个环境参量, 可以定义为 150 和 850 hPa 之间纬向风垂直切变的绝对值. 这里, 分析了 NPO-MWS 的相关分布, 并和 TNWP-MWS 以及 HNAT-MWS 的相关分布进行比较(图 3), 发现 NPO-MWS 的相关系数在热带大西洋区是正值, 当然 HNAT-MWS 的相关是负值; 而且从空间分布来看,

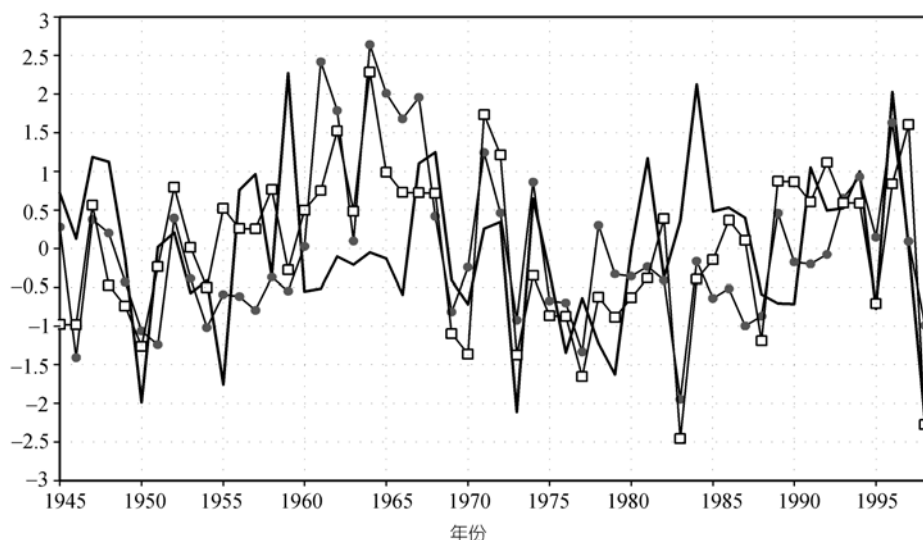


图 1 6~9 月北太平洋涛动指数 NPO(粗实线)、西太平洋热带风暴频次(点实线)和台风频次(带框的实线)的标准化时间序列 (1945~1998 年)

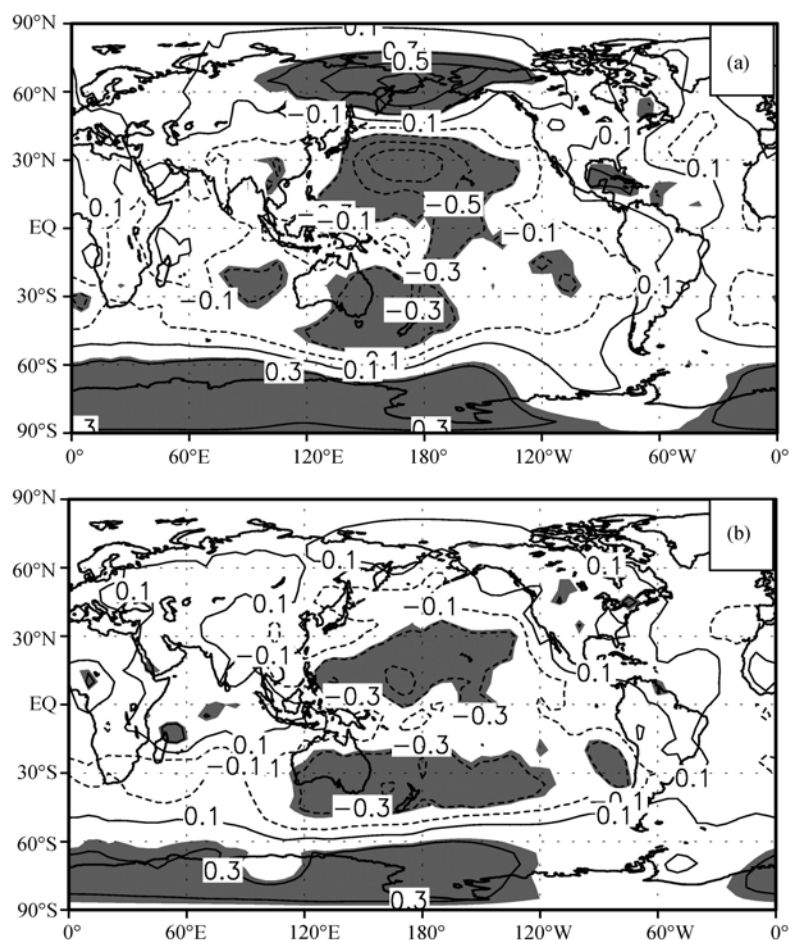


图2 1949~1998年6~9月SLP和NPO(a)及TNWP(b)的相关系数空间分布
阴影区为 t 检验信度超过95%的区域

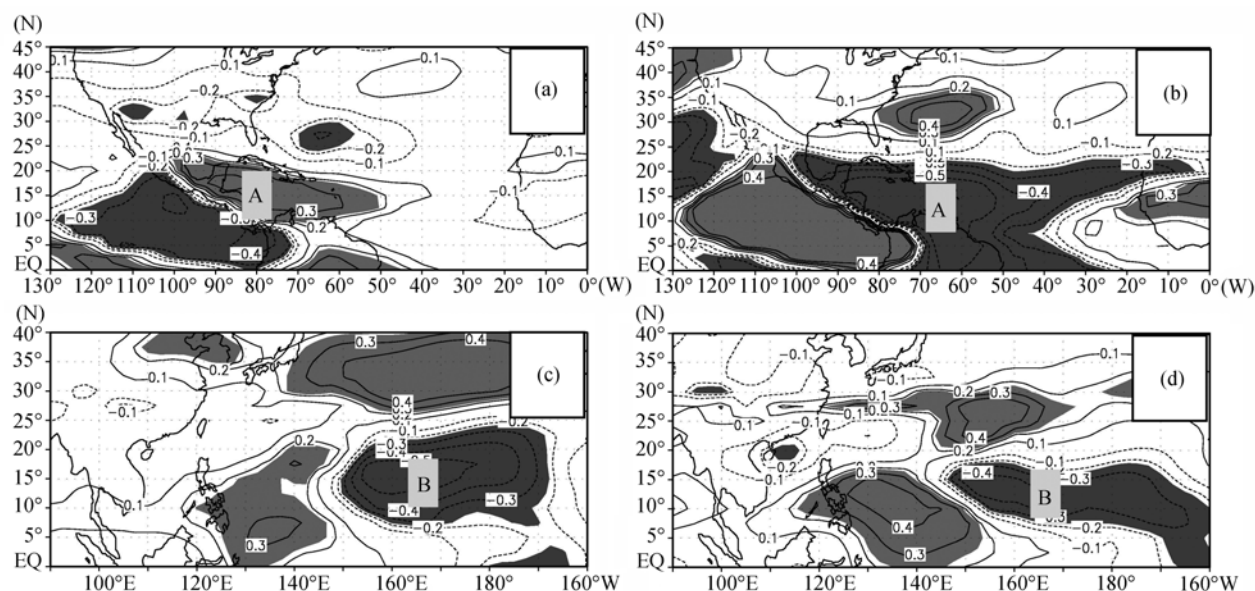


图3 1949~1998年6~9月MWS和NPO在太平洋(a)及大西洋(c)的相关系数的空间分布; 以及6~9月MWS和HNAT(b)及TNWP(d)的相关系数的空间分布
阴影区为 t 检验信度超过95%的区域

HNAT-MWS 和 NPO-MWS 的结果也基本相反. 说明, NPO 的变化确实是和热带大西洋飓风频次变化相反. 西太平洋台风的初始生成区域主要是在 $5^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 的热带中西部太平洋区域, 所以这个区域的 MWS 的变化非常关键, 从图 3(c)和(d)的 B 区中的变化看到, NPO-MWS 的相关是负的, 这和 TNWP-MWS 的相关特征是一致的. 所以, 如果 NPO 处于正异常位相, 则 B 区 MWS 处于负位相, 有利于台风生成和发展; 反之亦然.

图 4 又进一步给出了 NPO-MWS 的大尺度相关分布, 从图 4 中看到, 存在很清楚的遥相关分布型, 一个是在北太平洋和热带西太平洋之间, 另一个是在北太平洋和热带大西洋之间. 正是这两个遥相关型把 NPO 的变化和西太平洋及热带大西洋的变化联系起来, 使得台风/飓风频次的变化和 NPO 联系起来.

海温的变化对于热带气旋的生成和发展是至关重要的热力条件. 图 5 显示, NPO 和 SST 的相关场在热带太平洋是正相关, 所以当 NPO 处于正(负)位相时该区域倾向于有正(负)的海温距平, 而有(不)利于台

风生成和发展. 然而, 在热带大西洋, 情况则相反, 即, 当 SST 处于正(负)位相时, 会倾向于有负(正)的海温距平存在而不(有)利于飓风生成和发展. 反之亦然.

3 可能的机制

现在讨论一下 NPO 和台风/飓风频次相关联的可能机制. 考虑 NPO 处于正距平的年份和处于负距平的年份的平均差异, 会有什么变化, 把标准化 NPO 序列中正异常和负异常的年份组合分别作为 NPO 正距平组合和负距平组合. 同时, 为了尽可能地剔除 ENSO 的可能影响, 把 El Niño 年(1951, 1953, 1957, 1963, 1965, 1972, 1982, 1987, 1991, 1997)和 La Niña 年(1954, 1955, 1956, 1964, 1970, 1971, 1973, 1975, 1988, 1998)都排出去. 这样, 在正负 NPO 距平的年份组合中各有 15 a, 分析这两个 15 a 平均结果的差异.

图 6 给出了 150 和 850 hPa 之间纬向风垂直切变幅度的差值分布, 其分布特征和图 3, 4 的结果非常吻合. 这说明 NPO 的变异确实和西太平洋区及热带大

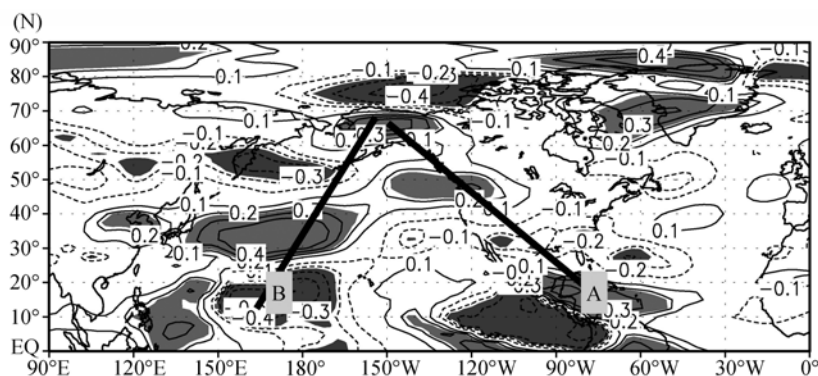


图 4 1949~1998 年 6~9 月 NPO 和 MWS 在太平洋-大西洋区域的相关系数的空间分布
阴影区为 t 检验信度超过 95% 的区域

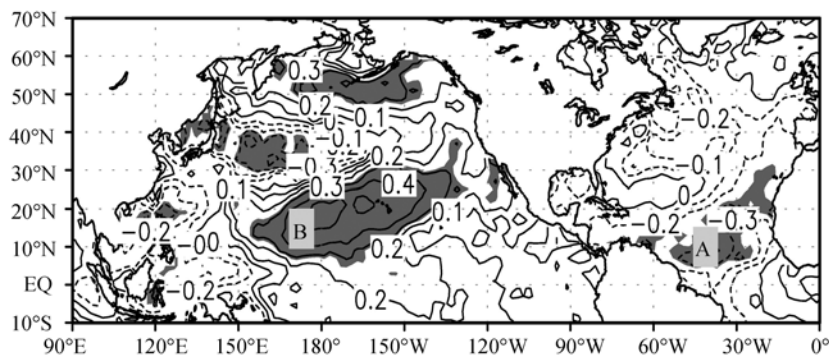


图 5 1950~1998 年 6~9 月 NPO 和 SST 相关系数的空间分布
阴影区为 t 检验信度超过 95% 的区域

西洋区的纬向风垂直切变幅度密切相关, 这是 NPO 和台风/飓风频次联系一个重要环节.

图 7 给出了 NPO 正负距平组合的 150 和 850 hPa 风场差异的空间分布. 在 150 hPa 上, 太平洋的 20°~40°N 区是西风异常——表明西风急流加强了(实际上, 也分析了纬向风的组合差异, 确实有西风急流的加强), 由于西风急流的加强, 其南侧的异常反气

旋型环流形成, 其北侧的异常气旋型环流形成, 结果导致西太平洋区有东风异常存在. 在 850 hPa, 西太平洋区的纬向风异常为东风异常, 但数值很小. 这样的高低层纬向风异常配置导致高低层纬向风垂直切变幅度显著减小(见图 7 中标出的矩形区域).

在热带大西洋, 150 hPa 上的西风急流是减弱的, 从而导致与西太平洋的变化相反, 即, 急流的南北两

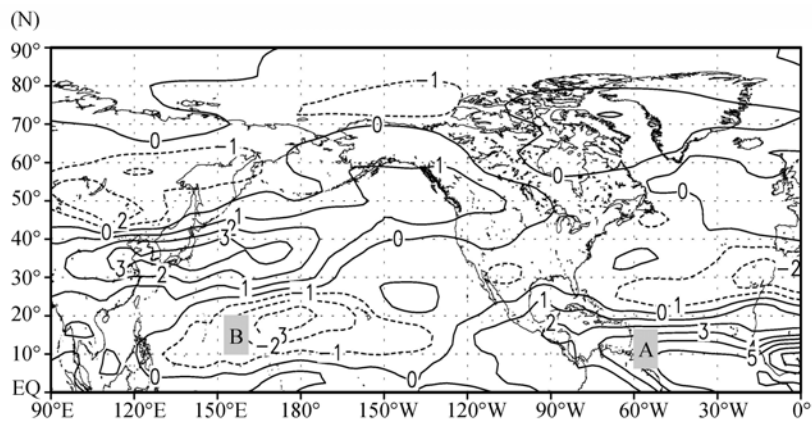


图 6 基于 NPO 的 1949~1998 年纬向风垂直切变幅度的正负距平组合差值(m/s)空间分布

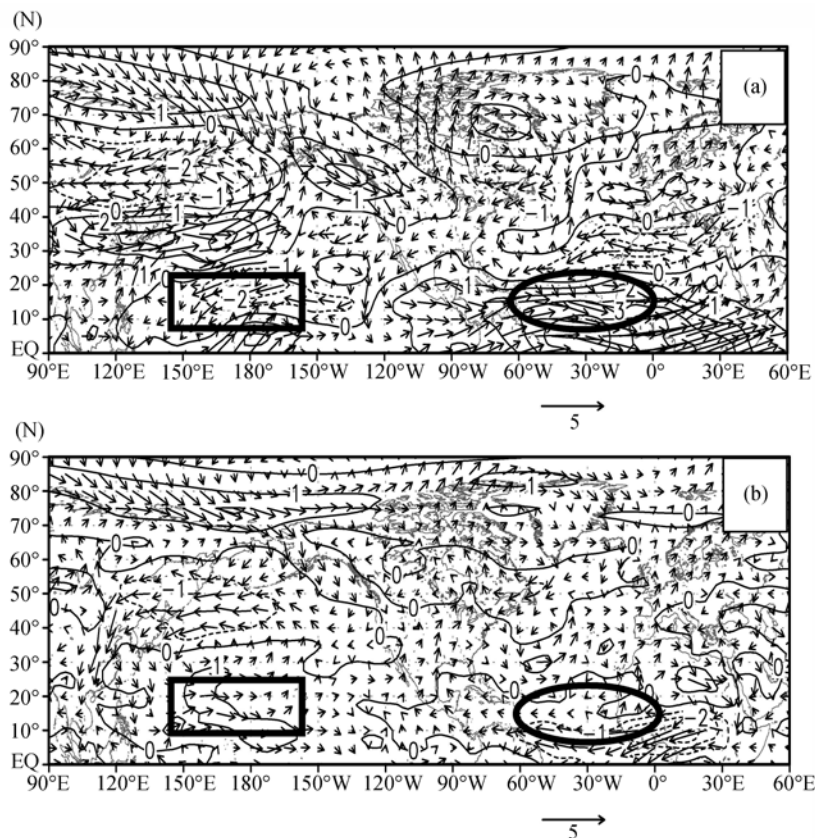


图 7 基于 NPO 的 1949~1998 年 150 hPa(a)和 850 hPa(b)风场的正负距平组合差值(m/s)空间分布
等值线给出了纬向风的差值分布(m/s)

侧分别有气旋式异常和反气旋式异常存在, 在热带大西洋区是西风异常. 同时, 850 hPa 上的纬向风变化仍然很小, 结果使得纬向风的垂直切变幅度变大了(见图中标出的椭圆区域).

150 hPa 上急流的变化则和前文提到的两个大气遥相关密切相关. 实际上, 在重力位势高度场的变化上也可以清楚看到这两个遥相关型(图 8).

4 一个耦合气候模式的结果初步分析

为了证实从观测资料分析中得到的结果, 再来分析一个全球大气-海洋环流耦合模式的气候态数值积分结果. 这个模式是由挪威的几个研究机构共同研发的海气耦合模式(BCM), 已经有很多应用, 包括几次在政府间气候变化委员会的科学评估中应用^[26], 其气候态的模拟积分了 300 a, 因此, 分析这 300 a 积分中NPO和相关气候变量的关系.

图 9 给出了 NPO 和 150 和 850 hPa 之间纬向风垂直切变幅度的相关场, 在西太平洋区确实是反相关, 而在热带大西洋区确实正相关. 这和观测资料的结果吻合. NPO 和 SST 的相关分布(图 10)也和观测资料的结果吻合, 在西太平洋区是正相关, 在热带大西洋区是反相关. 所以, 这个耦合模式的结果 NPO 和 MWS 及 SST 的相关分布印证了观测资料的结果.

还分析了大气辐散辐合及涡度的变化, 由于篇幅的原因, 这里给出了 NPO 和 850 hPa 散度的相关分布(图 11). B 区是负的相关区, 即, 当 NPO 处于正位相时为异常辐合区, 有利于热带气旋和台风的生成和发展. 在热带大西洋区为正相关, 结果与热带西太平洋的情况相反. 总之, 散度和涡度的变化同样支持 NPO 与台风/飓风频次之间的相关关系, 印证了观测资料的结果. 当然, 基于更多的耦合气候系统模式的分析研究还是非常需要的, 今后的工作中将加强这

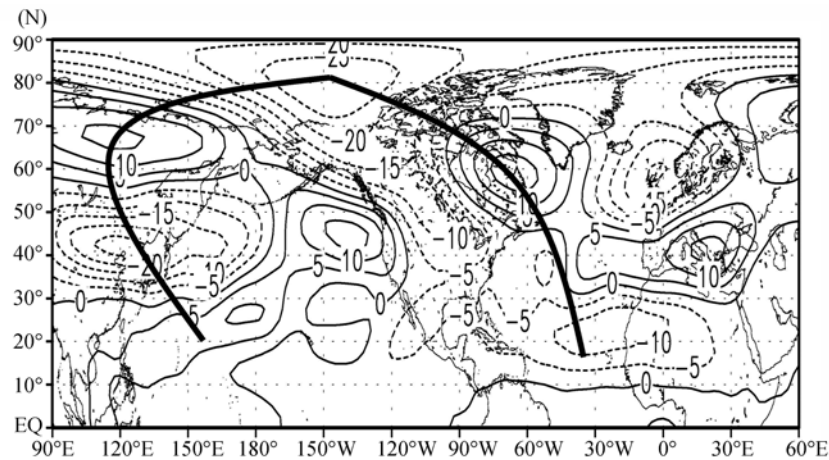


图 8 基于 NPO 的 1949~1998 年 150 hPa 重力位势高度场的正负距平组合差值(gpm/s)空间分布
粗实线表示两个遥相关型的分布

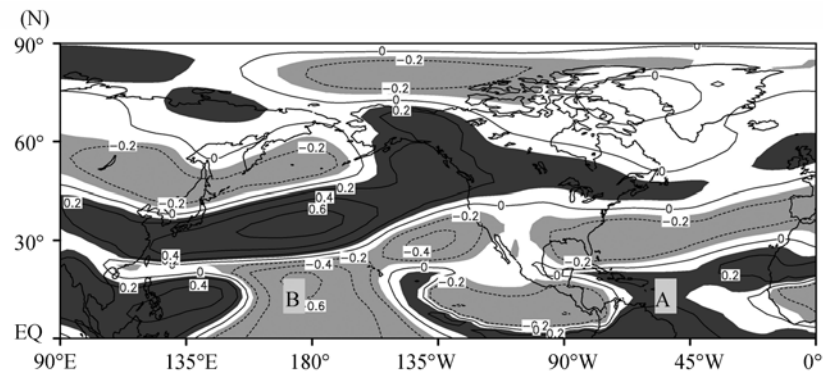


图 9
同图 4, 但为耦合模式 300 积分的结果

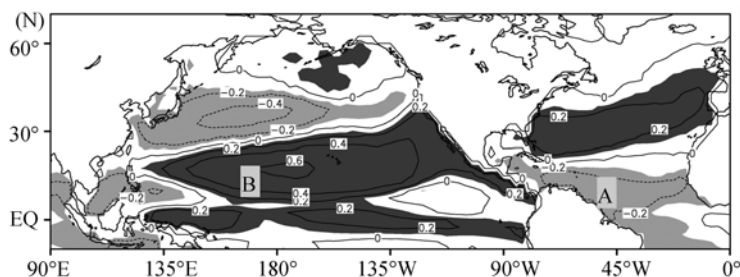


图 10

同图 5, 但为耦合模式 300 积分的结果

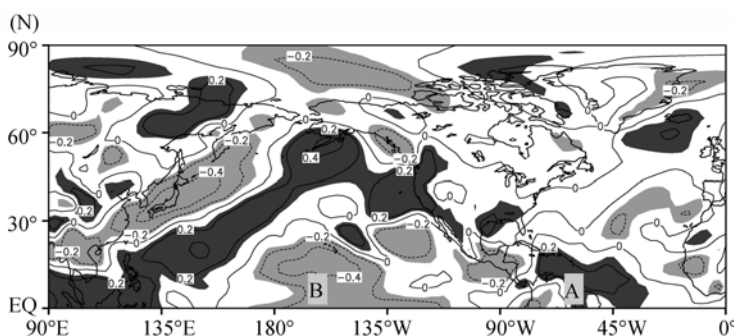


图 11 耦合模式 300 积分的结果中 6~9 月 NPO 指数和 850 hPa 散度的相关系数空间分布

阴影区为 t 检验信度超过 95% 的区域

方面的研究工作.

者表示衷心感谢.

5 结语

本文揭示了 NPO 和台风/飓风频次之间存在着显著的联系. 研究表明, 与 NPO 的变化相联系的西太平洋区和热带大西洋区的纬向风垂直切变幅度、海温等变化均证实了这种联系的存在性. 当 NPO 处于正异常位相时, 西太平洋区 MWS 减小、SST 增高; 热带大西洋的情况相反. 结果有利于西太平洋台风生成和发展不利于热带大西洋飓风生成和发展. 反之亦然.

在对流层上层由于两个大气遥相关的存在使得西风急流发生变化, 进而导致纬向风的变化直至 MWS 的变化, 最终影响台风/飓风活动频次.

本文还利用一个气候耦合模式的积分结果进行初步分析, 结果表明, 模式中 NPO 变化和 MWS, SST, 散度及涡度的变化均存在显著的联系, 并且和观测的结果基本吻合. 因而, 这个耦合模式的结果印证了我们在观测资料中得到的结论. 当然, 利用更多的耦合气候模式进行分析研究在未来的工作中是需要重点考虑的一个方面.

致谢 审稿人对本文提出了宝贵的修改意见, 作

参 考 文 献

- 1 Chan J C L. Tropical cyclone activity in the Northwest Pacific in relation to the El Niño/Southern Oscillation phenomenon. *Mon Weather Rev*, 1985, 113(4): 599—606[DOI]
- 2 Dong K Q, Neumann C J. The relationship between tropical cyclone motion and environmental geostrophic flows. *Mon Weather Rev*, 1986, 114(1): 115—122[DOI]
- 3 Lander M A. An exploratory analysis of the relationship between tropical storm formation in the western North Pacific and ENSO. *Mon Weather Rev*, 1994, 122(4): 636—651[DOI]
- 4 Wang B, Chan J C L. How strong ENSO events affect tropical storm activity over the Western North Pacific. *J Clim*, 2002, 15(13): 1643—1658[DOI]
- 5 Chia H H, Ropelewski C F. The interannual variability in the genesis location of tropical cyclones in the Northwest Pacific. *J Clim*, 2002, 15(20): 2934—2944[DOI]
- 6 Wu M C, Chang W L, Leung W M. Impacts of El Niño-Southern Oscillation events on tropical cyclone landfalling activity in the western North Pacific. *J Clim*, 2004, 17(6): 1419—1428[DOI]
- 7 Camargo S J, Sobel A H. Western North Pacific tropical cyclone intensity and ENSO. *J Clim*, 2005, 18(15): 2996—3006[DOI]
- 8 Gray W M. Atlantic seasonal hurricane frequency: Part I: El Niño and 30 mb quasi-biennial oscillation influences. *Mon Weather Rev*, 1984, 112(9): 1649—1668[DOI]
- 9 Jones C G, Thorncroft C D. The role of El Niño in Atlantic tropical cyclone activity. *Weather*, 1998, 53: 324—336

- 10 Chan J C L. Tropical cyclone activity in the western North Pacific in relation to the stratospheric Quasi-Biennial Oscillation. *Mon Weather Rev*, 1995, 123(8): 2567—2571[DOI]
- 11 Rogers J C. The North Pacific oscillation. *J Clim*, 1981, 1(1): 39—57
- 12 Wallace J M, Gutzler D S. Teleconnections in the geopotential height during the Northern Hemisphere winter. *Mon Weather Rev*, 1981, 126(4): 791—805
- 13 Wallace J M, Thompson D W J. The Pacific center of action of the Northern Hemisphere annular mode: real or artifact? *J Clim*, 2002, 15(14): 1987—1991[DOI]
- 14 郭冬, 孙照渤. 冬季北太平洋涛动异常与东亚冬季风和我国天气气候的关系. *南京气象学院学报*, 2004, 27(4): 461—470
- 15 Yeh S W, Kirtman B P. The North Pacific oscillation-ENSO and internal atmospheric variability. *Geophys Res Lett*, 2004, 31, L13206, doi: 10.1029/2004GL019983
- 16 李崇银, 李桂龙. 北大西洋涛动和北太平洋涛动的演变与 20 世纪 60 年代的气候突变. *科学通报*, 1999, 44(16): 1765—1769
- 17 李崇银, 朱锦红, 孙照渤. 年代际气候变化研究. *气候与环境研究*, 2002, 7(2): 209—219
- 18 Yang H J, Zhang Q. On the decadal and interdecadal variability in the Pacific Ocean. *Adv Atmos Sci*, 2003, 20(2): 173—184
- 19 朱益民, 杨修群. 太平洋年代际振荡与中国变率的关系. *气象学报*, 2003, 61(6): 641—654
- 20 Wang S W, Zhu J H, Cai J N. Interdecadal variability of temperature and precipitation in China since 1880. *Adv Atmos Sci*, 2004, 21(3): 307—313
- 21 王会军, 范可. 西太平洋台风生成频次与南极涛动的关系. *科学通报*, 2006, 51(24): 2910—2914
- 22 Landsea C W, Anderson C, Charles N, et al. The Atlantic hurricane database re-analysis project: documentation for the 1851-1910 alterations and additions to the HURDAT database. In: Murname R J, Liu K B, eds. *Hurricanes and Typhoons: Past, Present and Future*. Columbia: Columbia University Press, 2004. 177—221
- 23 Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalyses project. *Bull Am Meteorol Soc*, 1996, 77(3): 437—471[DOI]
- 24 Basnett T A, Parker D E. Development of the Global Mean Sea Level Pressure Data Set GMSLP2. Hadley Centre Climate Research Technical Note CRTN 79, 1997
- 25 Reynolds R W, Rayner N A, Smith T M, et al. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J Clim*, 2002, 15(13): 1609—1625[DOI]
- 26 Furevik T, Bentsen M, Drange H, et al. Description and validation of the Bergen Climate Model: ARPEGE coupled with MICOM. *Clim Dyn*, 2003, 21(1): 27—51[DOI]